

REPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE

SERVICE

de la PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

# BREVET D'INVENTION

P.V. n° 2.369, Territ. de Belfort N° 1.352.876

Classification internationale : F 22 c — F 25 h

Améliorations aux installations à cycle mixte gaz-vapeur avec chaudière à foyer sous pression. (Invention : Charles MACHEREY.)

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES  
(ALSTHOM) résidant en France (Seine).

Demandé le 4 décembre 1962, à 14<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>, à Belfort.

Délivré par arrêté du 13 janvier 1964.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 8 de 1964.)

(Brevet d'invention dont la délivrance a été ajournée en exécution de l'article 11, § 7, de la loi du 5 juillet 1844 modifiée par la loi du 7 avril 1902.)

Le cycle mixte gaz-vapeur le plus simple, réalisé depuis plus de trente ans avec les chaudières suralimentées, comporte successivement, dans le circuit de gaz, un compresseur, une chaudière sous pression, une turbine à gaz, et des récupérateurs à l'aval de la turbine. Ce cycle a pu être perfectionné en fractionnant la détente des gaz, et en plaçant les récupérateurs, et éventuellement des vaporisateurs, au palier de pression intermédiaire. Le perfectionnement, qui porte sur cette double détente d'aval, a fait l'objet du brevet français n° 1.003.925, du 26 octobre 1949. Il se manifeste par l'amélioration substantielle du rendement de la production de vapeur.

Le cycle a été appliqué plus tard à la production combinée de puissance gaz et de puissance vapeur. Bien que, dans une installation combinée, où la fraction de puissance gaz est un facteur important du rendement, il ne soit pas en apparence avantageux de refroidir les gaz avant détente complète, la double détente a son application à plusieurs titres, notamment pour abaisser le prix de revient du matériel, à rendement égal de l'installation d'ensemble.

Les centrales combinées fonctionnant suivant un tel cycle, ont permis d'obtenir, jusqu'à un certain niveau des caractéristiques de vapeur, une amélioration du rendement de l'ordre de 5 % par rapport au rendement des centrales classiques à vapeur, tout en donnant à l'installation un aspect homogène et compact.

L'augmentation, avec la puissance, des caractéristiques de pression et température des centrales classiques, en améliorant le rendement du cycle vapeur, tend à réduire l'avantage de rendement des centrales à cycle combiné, du moins dans le schéma simplifié ci-dessus décrit. L'intérêt des installations mixtes ne peut donc subsister que si des

perfectionnements sont apportés au cycle initial appliqué à ces installations.

Le procédé le plus efficace pour améliorer le rendement d'un cycle mixte consiste à ménager des dispositions relevant la fraction de puissance gaz par rapport à la puissance totale produite. A cette fin, on a pensé à augmenter le taux de compression (en consentant à un refroidissement intermédiaire) et on a placé en amont de la chaudière sous pression une turbine à gaz complémentaire.

L'emploi de ce nouveau schéma, si l'on ne tient pas compte des difficultés de réalisation qu'il comporte, revalorise le système mixte devant les centrales classiques à hautes caractéristiques de vapeur.

Mais, quand on cherche à appliquer au nouveau schéma les idées valables pour les chaudières à foyer sous pression conçues à l'étape précédente, on se heurte à des difficultés d'ordre constructif, imputables à l'apparition de températures situées à un niveau excessif.

La présente invention se propose de surmonter, par l'adoption de dispositions spéciales, les difficultés qui viennent d'être évoquées, et de profiter des circonstances favorables créées par la présence d'une turbine à gaz d'amont, pour la résolution d'importantes difficultés latérales non complètement aplanies au stade technique précédent.

Dans le cycle classique avec détente d'amont, les fumées s'échappent de la turbine à gaz à une température élevée que ne pourrait pas supporter la chaudière sous pression placée à l'aval. L'enveloppe de cette chaudière serait à la rigueur construite en acier inoxydable, mais le rattrapage des dilatactions différentielles considérables entre les parties soumises à la pression de gaz, et les parties (en acier doux) soumises à la pression de vapeur saturée, insoluble déjà dans la construction en acier

doux des enveloppes, serait aggravé par la construction de celles-ci en acier inoxydable. Par ailleurs, les turbo-ventilateurs de recyclage ne sont concevables que si les fluides en mouvement sont à température modérée, et on ne saurait par quoi les remplacer pour effectuer le réglage nécessaire de la vaporisation dans la chambre de combustion.

La présente invention a pour objet des améliorations aux installations à cycle mixte gaz-vapeur avec chaudière à foyer sous pression et turbine à gaz d'amont, permettant notamment de refroidir les gaz avant leur entrée dans la chaudière. Ces améliorations sont essentiellement caractérisées en ce que, entre la turbine d'amont et la chaudière, les gaz sont d'abord réchauffés dans une chambre de combustion secondaire et ensuite refroidis dans un échangeur de chaleur comportant des surchauffeurs de vapeur.

On sait que la tenue des surchauffeurs (ou resurchauffeurs) à haute température, précaire déjà dans les chaudières classiques et dans les chaudières sous pression des cycles combinés traités à l'étape précédente, serait gravement compromis par la conjugaison des tensions thermiques et mécaniques importantes prenant naissance avec des caractéristiques de vapeur encore plus élevées. Pour résoudre ce problème délicat de résistance des métaux à la pression et à la chaleur, il est souhaitable de placer, dans les installations combinées, les parties surchauffantes, de 500° à 565° par exemple, dans un échangeur séparé, parcouru par des fumées à température peu élevée, échangeur tel que le taux de cession calorifique superficielle soit limité, pour fixer les idées, à 20 000 cal/m<sup>2</sup> x heure, malgré l'augmentation de l'efficacité des échanges avec la pression communiquée aux gaz chauffants. Il est donc intéressant d'utiliser, conformément à l'invention, de la vapeur à haute température pour refroidir les gaz avant leur entrée dans la chaudière à foyer sous pression.

Mais, si élevée que soit la température d'échappement des gaz de la turbine d'amont, elle n'est pas suffisante (compte tenu des masses relatives de gaz et de vapeur en jeu) pour réaliser une élévation notable de la température de vapeur. C'est pourquoi l'invention prévoit de réchauffer les gaz dans une seconde chambre de combustion, avant leur entrée dans l'échangeur refroidisseur.

Ce réchauffage des fumées est d'ailleurs limité par la considération qu'on ne désire pas abaisser la teneur en oxygène des fumées diluées à moins de 17 % avant leur admission comme comburant à la chaudière sous pression. On craindrait, avec un comburant moins riche, d'affecter la qualité de la combustion définitive dans la chaudière. Pour reculer les limites de chauffage dans la chambre de combustion secondaire qui précède l'échangeur refroidisseur de fumées l'invention prévoit de diminuer la

consommation de combustible dans la première chambre de combustion, en réchauffant, dans le refroidisseur de fumées caractéristique de l'invention, l'air émis à relativement basse température par le compresseur haute pression. Cette technique a l'avantage de se prêter au refroidissement des gaz parcourant l'échangeur refroidisseur à une température convenable pour l'entrée dans la chaudière sous pression. Elle permet, en outre, au profit de la deuxième chambre de combustion, d'abaisser la quantité de combustible brûlé dans la première chambre de combustion.

On pourra ainsi échauffer la vapeur de 500 à 565 °C, par exemple, et disposer d'un excédent de calories. L'invention prévoit, en outre, de céder cet excédent dans un vaporisateur disposé en parallèle sur les fumées avec le surchauffeur, et permettant de régler la température de vapeur surchauffée.

La chaudière sous pression, convenablement conçue, alimentée en comburant à 350 °C environ, température voisine de la température de saturation, sera construite en acier doux; les dilatations différentielles seront pratiquement supprimées, et la mise en circulation des fumées recyclées pour le réglage du transfert de chaleur dans la chambre de combustion sera réalisable par turbo-ventilateurs.

En d'autres termes, l'invention ramène la conception de la chaudière sous pression à un problème déjà résolu à l'étape technique précédente, et même simplifié par le fait que, la surchauffe haute température étant pratiquée dans le refroidisseur de fumées, la température de vapeur dans la chaudière elle-même est plus favorable, et tous ces avantages sont acquis sans atteinte à la richesse des fumées comburantes.

Au point de vue du problème de surchauffe, l'invention ne résout pas seulement la question de résistance des tubes aux tensions thermiques et mécaniques. On sait que les fumées émises par certains combustibles ont une action corrosive, et tendent à former des dépôts très durs quand les surfaces métalliques en contact ont une température supérieure au point de fusion des eutectiques composés avec les produits des cendres. Des dépôts de ce genre, observés dans les chaudières classiques à la pression atmosphérique chauffées au mazout, ne sont pas éliminés par l'emploi des engins usuels de nettoyage, et ne s'enlèvent que par intervention manuelle au burin. Leur formation est donc particulièrement redoutable dans les chaudières sous pression, dont les surfaces d'échange sont très compactes et peu accessibles.

Ce danger est loin d'être éliminé, d'une manière certaine, dans les cas les plus divers où les températures développées sur les surchauffeurs sont très élevées, et où les fumées agressives résul-

tent d'une combustion complète et sans excès d'air de la totalité du combustible de chauffe. Mais les fumées très diluées émises par les chambres de combustion de turbine à gaz sont moins dangereuses, ce qui explique que les turbines à gaz aient pu être protégées par épuration du combustible, malgré la haute température développée sur les aubages, température voisine de 800 °C, très supérieure au point de fusion des eutectiques les moins fusibles.

Dans la disposition de l'invention, les surchauffeurs (ou resurchauffeurs) du refroidisseur de fumées sont abordés par un courant de fumées à température élevée sans doute, mais incomparablement plus modérée que la température des fumées livrées par un foyer, même refroidi, lieu d'une combustion complète sans excès d'air. Dans ces circonstances, la température qui s'établit dans le métal du surchauffeur est plus proche de la température de vapeur, et par ce seul fait la tendance à la corrosion et à l'encrassement est notablement diminuée. Par ailleurs, il résulte de la combustion à forte dilution — correspondant à la teneur en oxygène de 17 % dans les produits de combustion — que les fumées sont cinq fois moins chargées environ en produits nocifs, que les fumées contre lesquelles il faut se protéger dans le cas ordinaire de la combustion sans dilution. Un mazout qui, par exemple, a été épuré à cinq parties par million de sodium pour la protection de la turbine à gaz, envoie dans l'échangeur refroidisseur caractéristique de l'invention, des fumées aussi peu chargées en produits nocifs qu'un mazout qui serait épuré, si c'était possible, à une partie par million de sodium, mais serait soumis à la combustion complète sans excès d'air. On remarque, d'autre part, que la turbine d'aval, alimentée en fumées chaudes résultant d'une combustion sans excès d'air, moins bien protégée que la turbine d'amont contre la corrosion et l'encrassement, nécessite une épuration du combustible probablement plus poussée que celle évoquée ci-dessus.

On peut donc conclure que le refroidisseur de fumées caractéristique de l'invention, résout la difficulté résultant de l'accroissement, avec la puissance, des caractéristiques de vapeur, au double point de vue des tensions (thermiques et mécaniques) s'établissant dans les tubes du surchauffeur (ou resurchauffeur), et des menaces de corrosion et encrassement résultant de l'emploi de mauvais combustibles. Il permet, en outre, de traiter la chaudière, alimentée en comburant relativement froid, et ne produisant que de la vapeur surchauffée (ou resurchauffée) à température intermédiaire, selon les principes établis au stade technique précédent.

En se référant aux figures schématiques ci-jointes, on va décrire des exemples, donnés à titre

non limitatif, de mise en œuvre de l'invention.

La figure 1 représente le schéma d'ensemble d'une installation à cycle mixte conforme à l'invention.

La figure 2 montre un exemple de réalisation du refroidisseur de fumées disposé suivant l'invention dans le cycle de la figure 1.

La figure 1 décrit un cycle mixte conforme à l'invention. L'air comburant est aspiré dans un compresseur à basse pression 1, dont le débit est refroidi dans un refroidisseur intermédiaire 2, avant l'entrée dans le compresseur à haute pression 3. L'air de combustion à haute pression est réchauffé dans le refroidisseur de fumées 4 et envoyé dans la chambre de combustion 5 alimentant en fumées diluées la turbine à gaz 6. Ces fumées s'échappent de la turbine à gaz 6 à une température relativement élevée, et ne pourraient sans danger être envoyées directement dans la chaudière sous pression 7. Elles sont envoyées dans une chambre de combustion 8 alimentant l'échangeur refroidisseur de fumées 4 en fumées diluées à température convenable. Elles sont refroidies dans cet échangeur avant passage dans la chaudière 7 où elles servent de comburant. Les gaz brûlés s'échappant de la chaudière 7 se détendent dans une turbine à gaz 9, s'en échappent à une pression supérieure à la pression atmosphérique, puis sont refroidis à ce palier de pression dans un échangeur 10 comportant un économiseur et éventuellement un surchauffeur à basse température. Ils subissent ensuite dans la turbine à gaz à basse pression 11 une détente à la pression atmosphérique, avant leur évacuation à la cheminée.

Le cycle ci-dessus a été décrit en appliquant la technique de la double détente d'aval, mais on ne sortirait évidemment pas du cadre de l'invention en utilisant une simple détente d'aval.

Un exemple de réalisation de l'échangeur 4 est représenté schématiquement sur la figure 2. Dans cet exemple, l'échangeur se compose d'un surchauffeur 12, d'un vaporisateur 13 et d'un réchauffeur d'air 14.

Les fumées livrées par la chambre de combustion 8 de la figure 1, pénètrent dans le refroidisseur de fumées suivant la flèche 15 et se partagent en parallèle entre le surchauffeur 12 et le vaporisateur 13. Le surchauffeur 12 est séparé du vaporisateur 13 par un cloisonnement 16. Les fumées passent ensuite dans le réchauffeur d'air 14, où elles subissent un refroidissement complémentaire servant à réchauffer l'air sortant du compresseur 3 de la figure 1, avant son injection dans la chambre de combustion 5 de cette figure. A la sortie du réchauffeur d'air 14, les fumées se propagent dans les canaux 17 et 18 correspondant respectivement aux parcours dans le surchauffeur 12 et dans le vaporisateur 13 délimités par la paroi 16. L'ouverture de ces canaux est réglée par des registres

19 et 20. Après passage des registres, le courant de fumées refroidi à une température modérée change de direction et se propage en sens inverse dans les espaces annulaires 21 selon les flèches 22. Ce courant met à température modérée et homogène l'enveloppe extérieure 23 de l'échangeur refroidisseur de fumées. Il s'échappe à la partie supérieure suivant la flèche 24, en direction du générateur de vapeur représenté en 7 sur la figure 1.

L'air pris à l'échappement du compresseur 3 entre en 25 dans l'échangeur, se réchauffe dans le réchauffeur d'air 14 et s'échappe suivant la flèche 26 dans un compartiment 27 de l'espace annulaire 21, à une température supérieure, mais peu différente, de la température des fumées diluées circulant suivant les flèches 22. Ce voisinage des températures est favorable à l'agencement interne du cloisonnement soumis aux dilatations. L'air réchauffé s'échappe en 28 du compartiment 27 et est dirigé vers la chambre de combustion représentée en 5 sur la figure 1.

Le dispositif ainsi décrit permet de refroidir les fumées diluées à une température compatible avec la bonne tenue de l'acier ordinaire utilisé dans la fabrication des parties sous pression de gaz de la chaudière représentée en 7 sur la figure 1. Cette chaudière — sauf en ce qui concerne le réchauffeur d'air qui n'y figure pas — peut être agencée selon les dispositions décrites dans le brevet français 1.239.974, du 16 juillet 1959. Elle comporte essentiellement un foyer refroidi par des parois vaporisatrices, un surchauffeur portant la température de la vapeur à 500 °C environ et un dispositif de recyclage des fumées servant au réglage de la vaporisation dans le foyer.

Le réglage de la température de vapeur est pratiqué dans le refroidisseur des fumées représenté sur la figure 2. Selon la position des registres 19 et 20 de ce refroidisseur, manœuvrés sous l'impulsion de la température de surchauffe (ou resurchauffe) pour faire passer plus ou moins de fumées dans le surchauffeur (ou resurchauffeur), la température de vapeur est plus ou moins élevée. Ce réglage est complété par un désurchauffeur, non représenté, limiteur de température, à injection d'eau, placé entre la sortie de vapeur surchauffée de la chaudière 7 et l'entrée de vapeur surchauffée dans l'échangeur refroidisseur 4. On pourrait pratiquer de la même façon la désurchauffe de la vapeur resurchauffée, mais il est habituel de considérer l'opération comme contraire au bon rendement du cycle d'ensemble. La surchauffe et la resurchauffe

étant ainsi réglées par by-pass des fumées dans le refroidisseur de fumées 4 représenté à la figure 2, le réglage de la température de vapeur n'est pas obligatoire dans la chaudière 7 sous pression elle-même, dont les recyclages peuvent être réglés de façon à maintenir constante la température des gaz à l'entrée de la turbine à gaz 9 de la figure 1.

Le réglage d'ensemble est complété par un régulateur de chauffe classique, non représenté, qui distribue le comburant et le combustible sous l'impulsion, par exemple, de la pression au réservoir de la chaudière. Si les compresseurs tournent à vitesse constante, le débit d'air est invariable. Une fraction seulement du comburant est envoyée aux brûleurs de la chaudière à foyer sous pression, la fraction complémentaire étant envoyée automatiquement à la chambre de combustion, de façon à proportionner le comburant au combustible distribué par le régulateur de chauffe. Dans cette technique, l'air envoyé dans la chambre se substitue automatiquement aux fumées recyclées, dont le volume diminue, de sorte que l'efficacité de surchauffeur dans la disposition décrite dans le brevet français n° 1.239.974 du 16 juillet 1959, diminue, condition qui s'accompagne d'un auto-réglage, au moins approximatif, de la température de vapeur livrée au refroidisseur de fumées de la figure 2.

Selon les commodités de la fabrication et de l'installation, l'échangeur 4 de la figure 1 peut être fractionné en plusieurs éléments semblables.

#### RÉSUMÉ

1° La présente invention a pour objet des améliorations aux installations à cycle mixte gaz-vapeur avec chaudière à foyer sous pression et turbine à gaz d'amont, essentiellement caractérisées en ce que, entre la turbine à gaz d'amont et la chaudière, les gaz sont d'abord réchauffés dans une chambre de combustion secondaire et ensuite refroidis dans un échangeur de chaleur comportant des surchauffeurs de vapeur;

2° Dans l'échangeur de chaleur suivant 1°, est installé un réchauffeur de l'air comburant alimentant la chambre de combustion de la turbine à gaz d'amont;

3° Dans l'échangeur de chaleur suivant 1°, on dispose deux circuits de gaz en parallèle, de débit réglable, passant l'un sur des surchauffeurs de vapeur, l'autre sur des vaporisateurs.

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE CONSTRUCTIONS  
ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES (ALSTHOM),  
avenue Kléber, 38. Paris (XVI<sup>e</sup>)

Fig.1

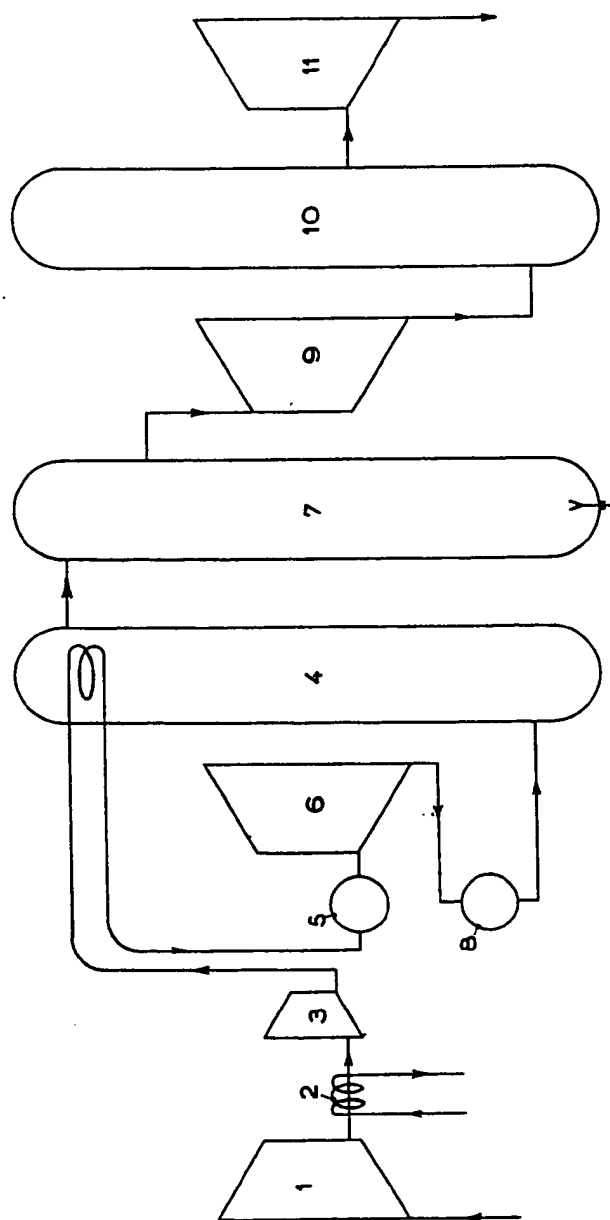


Fig.2

